

Io so lo e tu sei AI...

sabato 10 maggio 2025

Sala Conferenze Istituto Teologico San Pietro
Via Armando Diaz 25 - Viterbo

Formazione
per l'eccellenza



Ordine
dei tecnici sanitari di radiologia medica
e delle professioni sanitarie tecniche,
della riabilitazione e della prevenzione
Viterbo.



Responsabili scientifici

Dott.ssa Matia Martucci - TSRM Dott. Marino Gentile

All rights reserved

Formazione
per l'eccellenza



Rivista.AI

Applicazioni dell'I.A. in Radiagnostica



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

TSRM Elena Giorgiani

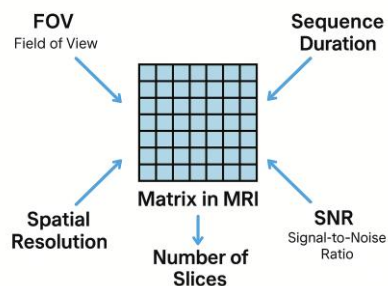


giorgianielena@gmail.com

Parametri RM

Di cosa parleremo?

Tabella Parametri RM				
Parametro		Rapporto Segnale Rumore /SNR	Risoluzione spaziale	Durata sequenza
Campo di Vista (FOV)				
Matrice				
Spessore di strato				
Bandwidth				
Water fat Shift				
NSA/NEX				
Imaging Parallelo				



Parametri RM

Cosa è la Risoluzione spaziale?

La **risoluzione spaziale** indica la capacità del sistema di distinguere due punti vicini come separati. In altre parole, quanto possiamo vedere «piccolo» un dettaglio nell'immagine.

La risoluzione spaziale dipende direttamente da due parametri chiave:

- **FOV** (*Field of View*, campo visivo): è l'area del corpo che viene coperta dall'immagine. È espresso in mm o cm.
- **Matrice di acquisizione**: è il numero di pixel (o meglio, *voxel* nel caso 3D) in cui viene suddiviso il FOV. Ad esempio, una matrice di 256×256 divide il FOV in 256 righe e 256 colonne.

$$\text{Risoluzione spaziale} = \frac{\text{FOV}}{\text{Dimensione della matrice}}$$

Parametri RM

Cosa è la Risoluzione spaziale?

La **risoluzione spaziale** è determinata da:

$$\text{Risoluzione spaziale} = \frac{\text{FOV}}{\text{Dimensione della matrice}}$$

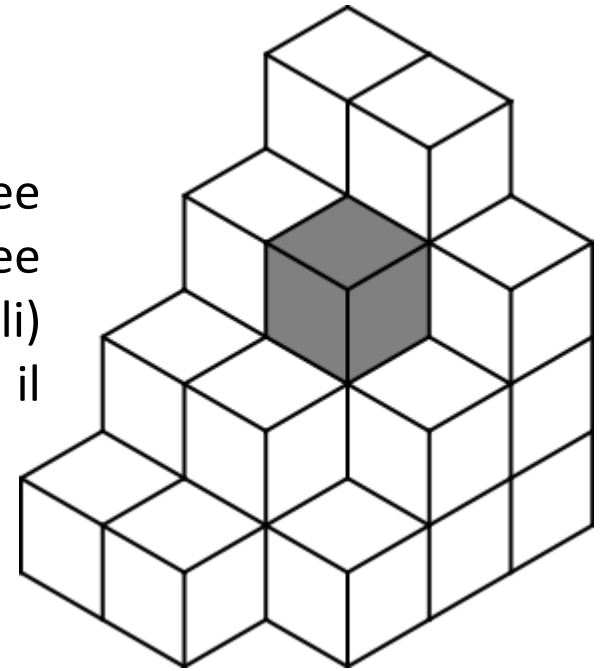
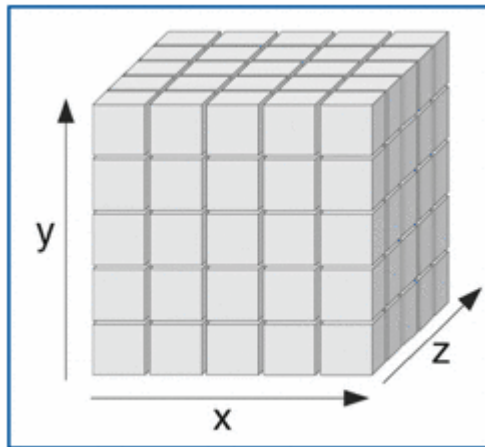
Quindi, **aumentando la dimensione della matrice**, a parità di FOV, **migliora la risoluzione** spaziale (pixel più piccoli).

•Viceversa, a parità di risoluzione desiderata, un aumento della matrice richiede un FOV maggiore.

Parametri RM

Cosa è la Matrice?

Ogni immagine è suddivisa tramite linee orizzontali e verticali in tante piccole aree uguali (pixel) ordinate in righe (orizzontali) e colonne (verticali); l'insieme prende il nome di MATRICE.



I pixel sono la rappresentazione bidimensionale degli elementi di volume (voxel) nei quali si è suddiviso ogni strato del campione in esame. La terza dimensione del voxel si identifica nello spessore di strato.

Parametri RM

Come cambiano i parametri variando la Matrice o il Fov?

$\text{Risoluzione spaziale (pixel)} = \frac{FOV}{\text{Dimensione della Matrice}}$				
Parametro		Risoluzione Spaziale	Dimensione del Pixel	Durata sequenza
Matrice				
Matrice				
Campo di Vista (FOV)				≈
Campo di Vista (FOV)				≈
N.B. Attenzione al SNR e al rischio artefatti!!!				

Parametri RM

E con l'SNR ...

$Risoluzione\ spaziale\ (pixel) = \frac{FOV}{Dimensione\ della\ Matrice}$					
Parametro		Risoluzione Spaziale	Dimensione del Pixel	Durata sequenza	SNR
Matrice					
Matrice					
Campo di Vista (FOV)				≈	
Campo di Vista (FOV)				≈	

Parametri RM

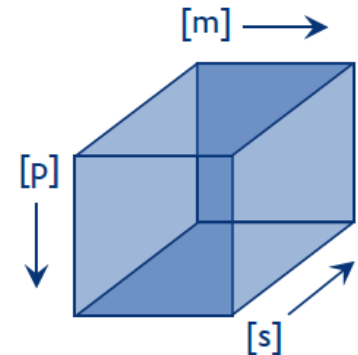
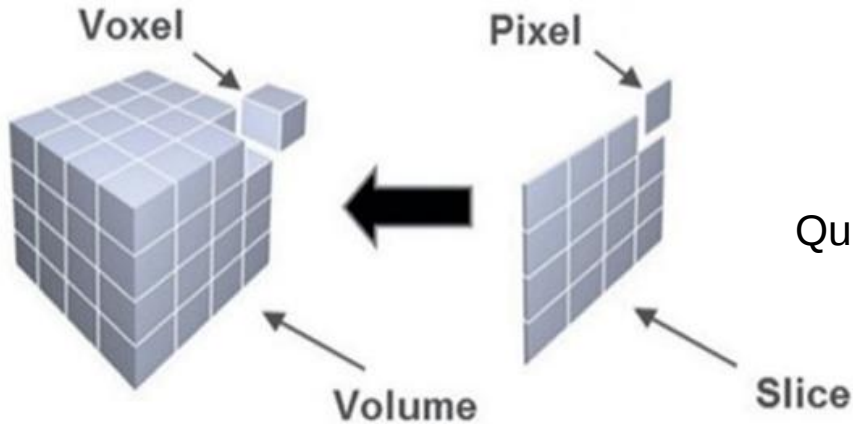
Pixel e Voxel

Esempio pratico:

- Se hai un FOV di **256 mm** e una matrice di **256 × 256**, la risoluzione spaziale è:

$$\frac{256 \text{ mm}}{256} = 1 \text{ mm}$$

Quindi **ogni pixel rappresenta 1 mm × 1 mm.**



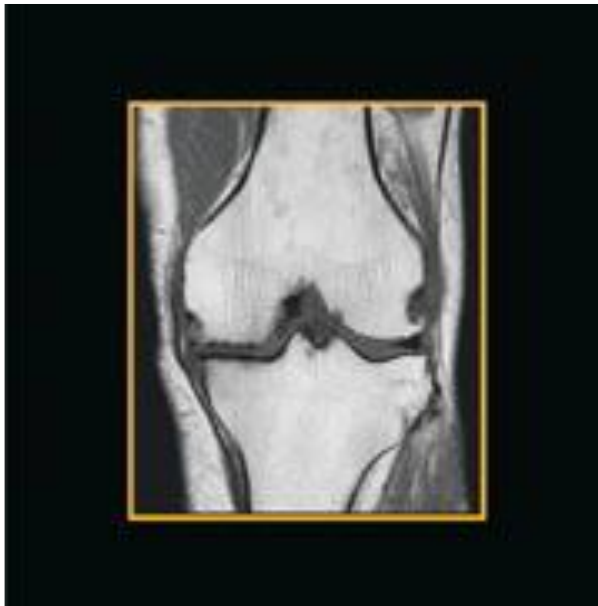
La dimensione dei **voxel** è **inversamente proporzionale** alla **risoluzione spaziale**.
In altre parole: un'elevata risoluzione spaziale equivale a voxel piccoli.

$$\text{Risoluzione spaziale} = \frac{\text{FOV}}{\text{Dimensione della matrice}}$$

Parametri RM

Chi determina la risoluzione spaziale?

Le immagini sottostanti hanno campo visivo e matrice diversi, ma la stessa dimensione dei pixel e quindi la stessa risoluzione spaziale nell'area di interesse all'interno del quadrato arancione.



Come dimostra questo esempio: è la dimensione dei **pixel**, non la matrice, a determinare la **risoluzione spaziale**.

$$\text{Risoluzione spaziale} = \frac{\text{FOV}}{\text{Dimensione della matrice}}$$

Risoluzione spaziale =

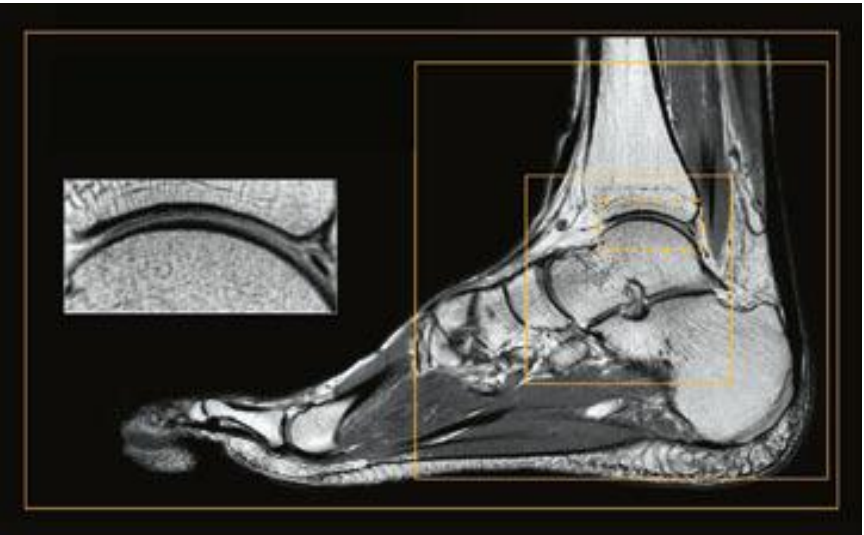
FOV

Dimensione della matrice

Parametri RM

Facciamo un calcolo?

Parametro	Formazione per l'eccellenza	Risoluzione Spaziale	Dimensione del Pixel	Durata sequenza
Matrice	↑	↑	↓	↑
Matrice	↓	↓	↑	↓
Campo di Vista (FOV)	↑	↓	↑	≈
Campo di Vista (FOV)	↓	↑	↓	≈



Pixel size	Matrix	FOV	Pixel size	Matrix	FOV
160 microns (0.16 mm)	512	85 mm	166 microns (0.166 mm)	512	85 mm
330 microns (0.33 mm)	512	170 mm	166 microns (0.166 mm)	1024	170 mm
660 microns (0.66 mm)	512	340 mm	166 microns (0.166 mm)	2048	340 mm

Combinando una matrice di 512 pixel con diversi FOV si ottengono pixel di dimensioni diverse.

Un'elevata risoluzione spaziale (pixel da 0,166 mm) può essere ottenuta con una gamma di diverse combinazioni di FOV e matrice.



Parametri RM

Tutto qui?

Chiaro e semplice?

Ma non finisce qui...

Parametri RM

Quali sono le dimensioni della Matrice?

In RM la matrice ha **due dimensioni**:

Direzione di frequenza (*Frequency Encoding Direction*): durante l'acquisizione dei dati, un gradiente di campo magnetico viene applicato in una direzione specifica mentre si registra il segnale (eco di spin o eco di gradiente). Questa direzione determina la variazione continua della frequenza dei protoni lungo l'asse considerato.

Direzione di fase (*Phase Encoding Direction*): per l'altra direzione spaziale, un gradiente viene applicato brevemente prima della lettura del segnale. Questo induce una variazione della fase di precessione dei protoni, permettendo di codificare l'informazione spaziale lungo il secondo asse.

Parametri RM

E la risoluzione è diversa?

Quindi:

$$\text{Risoluzione spaziale} = \frac{\text{FOV}}{\text{Dimensione della matrice}}$$

Frequency encoding → avviene rapidamente durante un singolo echo.

Phase encoding → ogni linea va acquisita separatamente → **influenza direttamente la durata della sequenza.**

Ovviamente ogni direzione ha la sua **risoluzione**:

$$\text{Risoluzione spaziale frequenza (pixel)} = \frac{\text{FOV frequenza}}{\text{Matrice in frequenza}}$$

$$\text{Risoluzione spaziale fase (pixel)} = \frac{\text{FOV fase}}{\text{Matrice in fase}}$$

Parametri RM

Perché non è così semplice?

Matrice in FREQUENZA

Se aumentiamo il numero di pixel in frequenza (es: da 256 a 512)

NON cambia la durata di acquisizione della sequenza.

NON influenza direttamente il numero di slice che possiamo acquisire.

Perché?

La codifica di frequenza avviene **durante** ogni echo, in pochi millisecondi → il numero di pixel in frequenza impatta **solo la quantità di dati, non il tempo di acquisizione** per ogni slice.

Matrice in FASE

Se aumentiamo il numero di pixel in fase (es: da 256 a 512)

Aumenta il numero di linee da acquisire.

Aumenta il tempo di acquisizione per ogni slice.

Riduce il numero massimo di slice che possiamo acquisire, a parità di tempo complessivo.

Perché?

Ogni linea di fase richiede un TR → **più linee di fase = più tempo per ogni slice → meno tempo disponibile per acquisire altre slice.**

Parametri RM

Sul sistema dove vediamo il nostro voxel?



initial	geometry	contrast	motion	dyn/ang	postproc	offc/ang	conflicts
Nucleus		H1	Total scan duration 05:05.0				
Coil selection		SENSE-Knee-8	Rel. signal level (%) 100				
element selection		12345678	Act. TR (ms) 5000				
connection		d	Act. TE (ms) 30				
Dual coil		no	ACQ voxel MPS (mm) 0.40 / 0.48 / 3.00				
Homogeneity correcti...		none	REC voxel MPS (mm) 0.31 / 0.31 / 3.00				
CLEAR		no	Scan percentage (%) 82.5				
FOV	FH (mm)	160	Packages 1				
	AP (mm)	160	Min. slice gap (mm) 0				
Size	FH (mm)	0.4	Act. slice gap (mm) 0.3				
AP (mm)		0.48	WFS (pix) / BW (Hz) 0.825 / 263.2				
Thickness (mm)		3	TSE es / shot (ms) 10.0 / 110				
Fold-over suppression		no	Min. TR (ms) 2903				
Reconstruction matrix		512	SAR / whole body < 36 % / 1.4 W/kg				
SENSE		no	Whole body / level < 1.4 W/kg / normal				
			B1 rms (uT) 2.7				



Parametri RM

Sul sistema dove vediamo il nostro voxel?



GE Healthcare

Total # Slices:	28
Max # Slices:	33
# of Acqs:	1
Rel. SNR ₀₀ :	100
Acq Voxel Size:	0.5x0.5x3.0
BW/Pixel:	231.5
Echo Spacing:	8.8

Cor obl T2 FSE obl GRx 1:06 Details

Scan Plane: Oblique Freq. Dir: S/I # of T

Freq. FOV: 20.0 Fat Shift Dir: Normal (0)

Phase FOV: 1.00 Auto TR: 6000.0 Auto Refor

No Phase Wrap: 1.80 # Slices: 28 Ech

Slice Thickness: 1.00 Re

Spacing: 0.1 St

R/L A/P S/I In

Start R5.9 A0.0 I20.1 Cor

End R6.1 P28.8 I27.3 Calibra

Act End R5.9, A0.0, I20.1 P

Chem SAT: None Intensity

Contrast: Save O

3D Ge

Cor

Total # Slices:	28
Max # Slices:	39
# of Acqs:	1
Rel. SNR ₀₀ :	68
Acq Voxel Size:	1.0x1.0x1.0
BW/Pixel:	500.0
Echo Spacing:	7.1

Parametri RM

Cosa sono il FOV e il Phase FOV?

In una sequenza di **risonanza magnetica (RM)**:

- **FOV (Field of View)**: è l'area coperta nell'immagine lungo l'asse di *frequenza*.
- **Phase FOV (Field of View di fase)**: è l'area coperta lungo l'asse di *fase*.

Il FOV lungo la direzione di lettura (frequenza) non influenza direttamente la durata della sequenza. Cambiare il FOV in frequenza cambia la **risoluzione spaziale** (per un dato numero di campioni) e la **larghezza di banda di lettura**, ma non il **tempo di acquisizione** in modo significativo.

$\text{Risoluzione spaziale (pixel)} = \frac{FOV}{\text{Dimensione della Matrice}}$					
Parametro		Risoluzione Spaziale	SNR	Durata sequenza	Numero di strati
Campo di Vista (FOV)				≈	≈
Campo di Vista (FOV)				≈	≈

Parametri RM

Il Phase FOV

Il Phase FOV, invece, influisce direttamente sulla durata della sequenza:

- La durata della sequenza è proporzionale al **numero di codifiche di fase** da eseguire.
- Se **riduciamo il Phase FOV**, possiamo:
 - **Ridurre il numero di codifiche di fase** necessarie (specialmente se si usa il **partial Fourier** o tecniche simili).
 - **Ridurre il tempo totale di acquisizione**

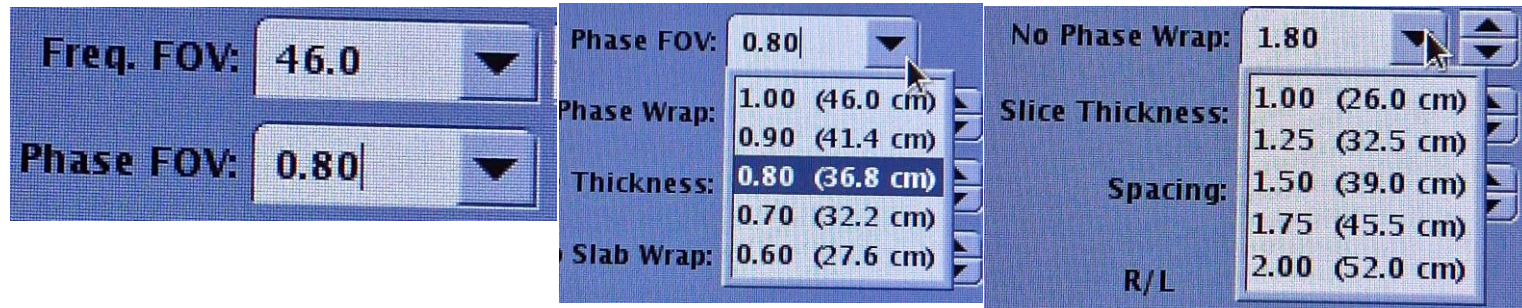
$\text{Risoluzione spaziale (pixel)} = \frac{FOV}{\text{Dimensione della Matrice}}$				
Parametro 	Risoluzione Spaziale	SNR	Durata sequenza	Numero di strati
Campo di Vista (FOV) 			≈	≈
Phase FOV 			 ≈	≈
Phase FOV 				≈

Parametri RM

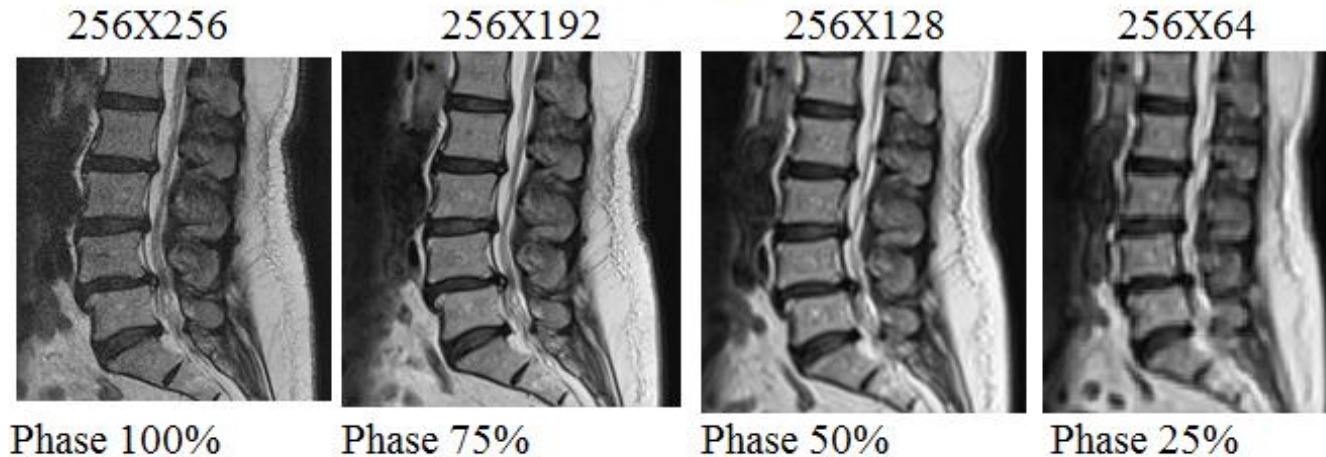
Se riduco il Phase FOV che succede?

Nota: Ridurre troppo il Phase FOV può causare **aliasing** (fold-over), cioè sovrapposizione di strutture anatomiche nell'immagine, a meno che non si usino tecniche di soppressione come:

- Oversampling
- Anti-aliasing



FOV 200



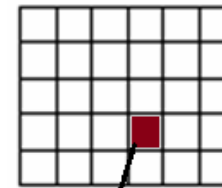
Parametri RM

Cosa è il Rapporto Segnale/Rumore (SNR)?

Il rapporto segnale/rumore (SNR) è inversamente proporzionale alla risoluzione di base.

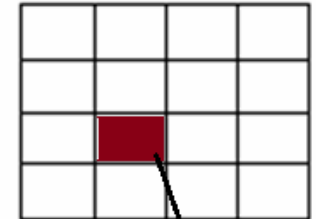
In altre parole, l'**SNR** è **direttamente proporzionale alla dimensione dei pixel**. Aumentando la risoluzione di base, la dimensione dei pixel diminuirà, riducendo di conseguenza l'SNR dell'immagine.

.5mm pixels

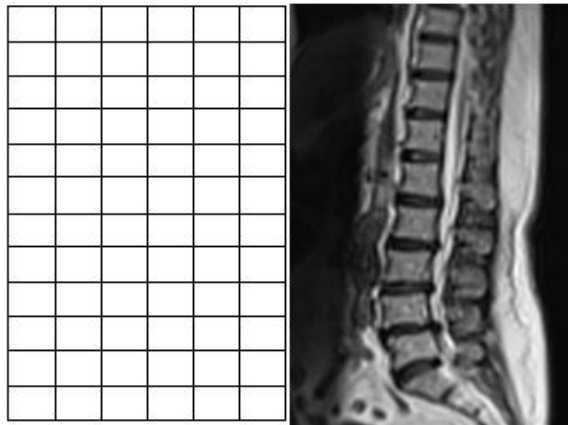


Lesser signals received
by individual pixel

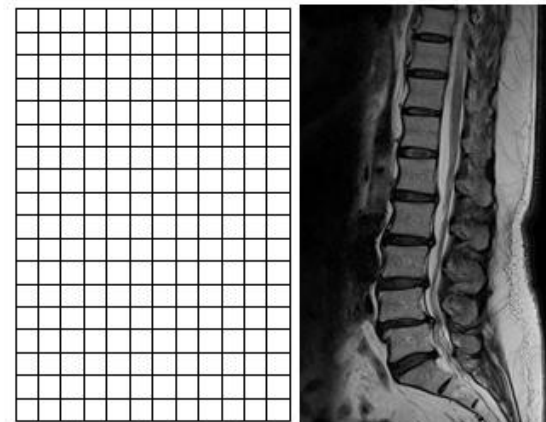
1mm pixels



Higher signals received
by individual pixel



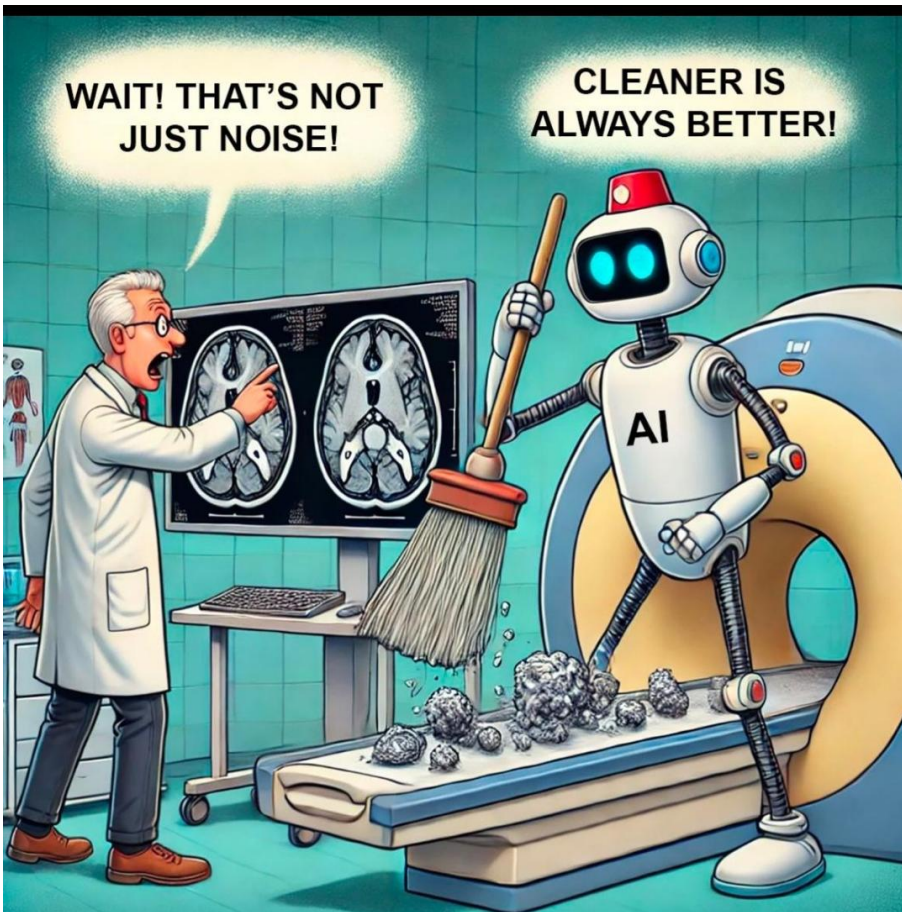
Large pixel size low resolution image



Small pixel size high resolution image

Parametri RM

CI sarebbe anche il CNR ...



CNR è l'acronimo di **Contrast-to-Noise Ratio** (Rapporto Contrasto/Rumore).

Si tratta di un parametro utilizzato per valutare la qualità di un'immagine RM misurando il **contrasto tra diversi tessuti o regioni di interesse** (ROI) in relazione al rumore di fondo. Un CNR più elevato indica una migliore qualità dell'immagine, poiché indica una distinzione più netta tra le aree confrontate.

$$CNR = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sigma_{rumore}}$$

Dove:

μ_1 : intensità media del segnale della **struttura di interesse** (ad esempio una lesione)

μ_2 : intensità media del segnale del **tessuto di riferimento** (es. tessuto sano circostante)

σ_{rumore} : deviazione standard del rumore (tipicamente misurato in una zona dell'immagine **senza segnale**, come l'aria o uno sfondo)

Parametri RM

Cosa è lo Slice Thickness?

Lo spessore di fetta si riferisce allo spessore delle singole fette dell'immagine acquisite durante il processo di scansione. Lo spessore di fetta è tipicamente misurato in millimetri ed è un parametro essenziale per determinare il livello di dettaglio anatomico catturato nell'immagine. Le sezioni più sottili nella risonanza magnetica offrono una maggiore risoluzione spaziale e riducono al minimo l'effetto del volume parziale, che si verifica quando un singolo voxel contiene più tipi di tessuto. Tuttavia, le sezioni più sottili tendono ad avere un rapporto segnale-rumore inferiore perché il segnale è distribuito su un volume più piccolo. Ciò può comportare un livello di rumore relativamente più elevato nell'immagine, che può influire sulla nitidezza dei dettagli.

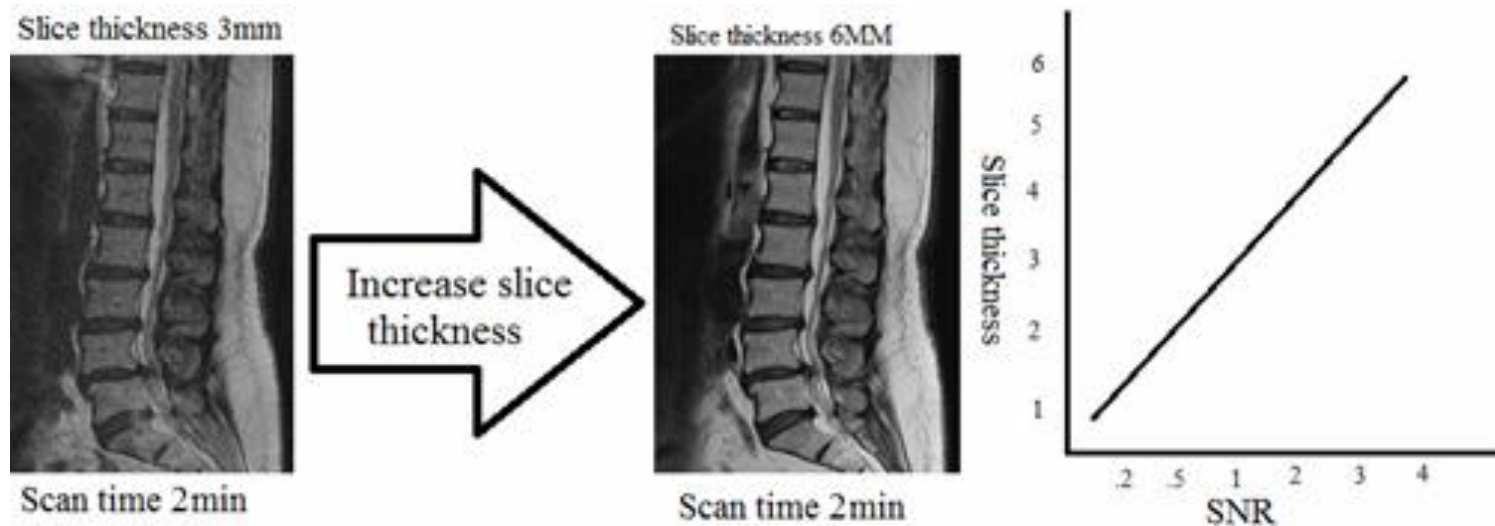
Spessore di strato				
Parametro		Rapporto Segnale Rumore /SNR	Risoluzione spaziale	Durata sequenza
Spessore di strato				
Spessore di strato				

Parametri RM

Slice Thickness e la durata della sequenza?

In linea generale, lo spessore di strato **non modifica direttamente** la durata di una singola acquisizione di sequenza, Tuttavia, **può influire sulla durata complessiva dello studio** se si mantengono costanti gli altri parametri.

- **Strati più sottili** → più strati da acquisire → maggiore durata totale dell'acquisizione.
- **Strati più spessi** → meno strati → durata totale minore.



Parametri RM

Cosa è la *Bandwidth*?

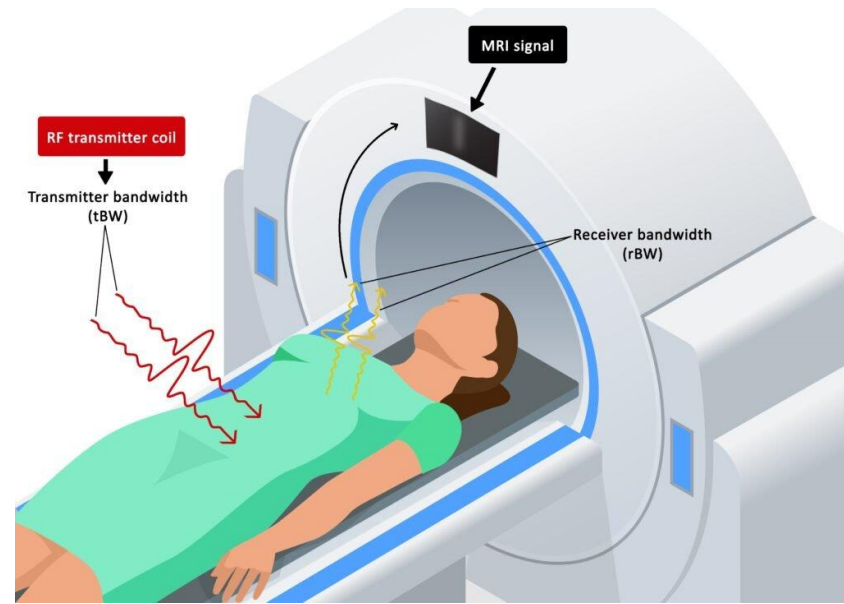
In RM la **larghezza di banda** o **Bandwidth** è definita come l'intervallo di frequenze o lunghezze d'onda che possono essere trasmesse o ricevute in un intervallo di tempo limitato.

La larghezza di banda si misura in cicli al secondo, o **Hertz (Hz)**.

Una sequenza MRI è progettata con due tipi di larghezza di banda: larghezza di banda del trasmettitore (tBW) e larghezza di banda del ricevitore (rBW). La larghezza di banda del trasmettitore descrive le proprietà degli impulsi a radiofrequenza (RF) trasmessi, mentre la larghezza di banda del ricevitore descrive la qualità del segnale MRI.

High Receiver bandwidth (rBW)

Advantages	Disadvantages
• Less chemical shift • Shorter minimum TE/TR • Shorter echo spacing (ES) • Less susceptibility artefacts • Less metal artefacts • Less distortion artefacts	• Lower Signal to noise ratio (SNR) • Large minimal field of view (FOV) • More noise



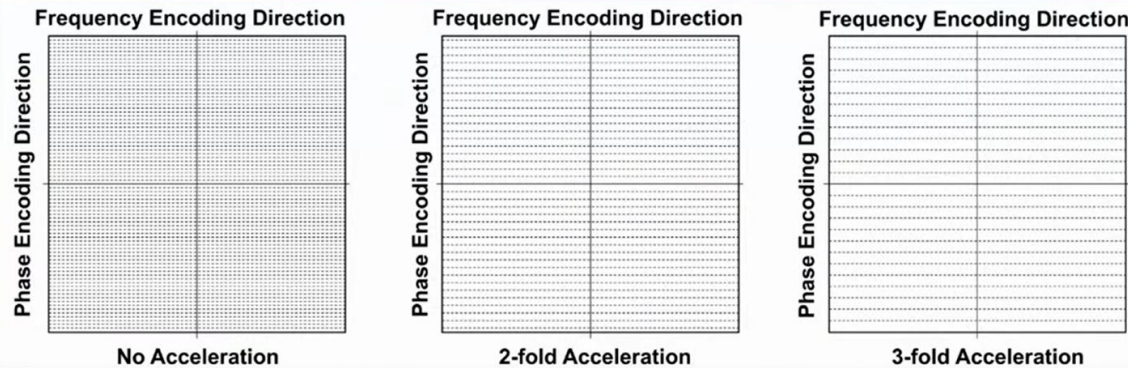
Parametri RM

Cosa è l'imaging parallelo?

Tecnica di imaging che permette di acquisire contemporaneamente più segnali;
Richiede l'uso di bobine *phased array*.

International Day of Radiology 2024: Live Expert Talks on Hot Topics in MSK

Parallel Imaging Acceleration



$$TA \sim \frac{NEX \times TR \times N_y}{ETL \times PI}$$

$$\%SNR \text{ reduction} \sim \left(\sqrt{\frac{\text{matrix size}}{\text{sampled lines}}} - 1 \right) \times 100$$

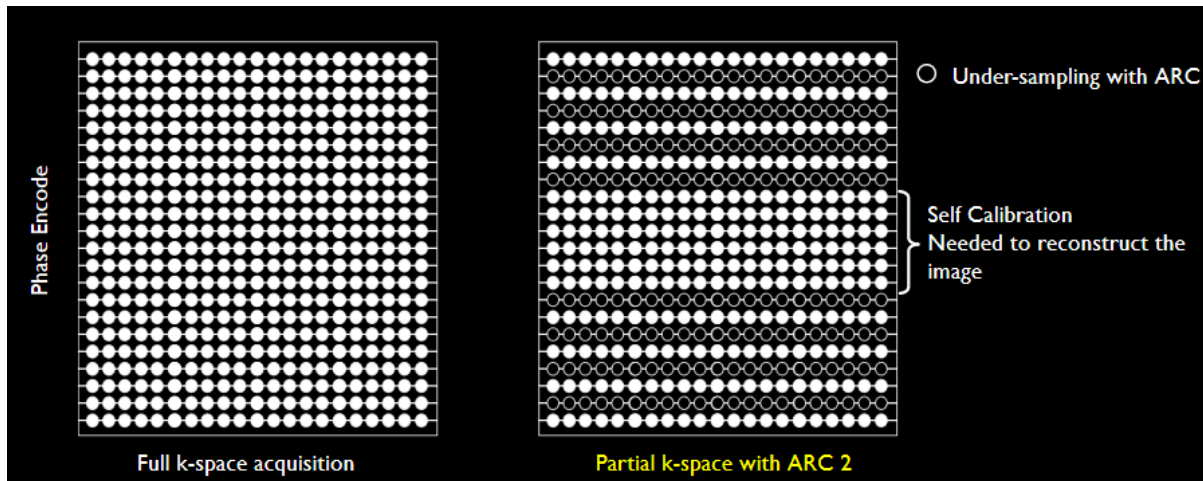
Griswold MA, Jakob PM, Heidemann RM, et al. Generalized autocalibrating partially parallel acquisitions (GRAPPA). Magn Reson Med 2002; 47:1202-1210
Pruessmann KP, Weiger M, Scheidegger MB, Boesiger P. SENSE: Sensitivity encoding for fast MRI. Magn Reson Med 1999; 42:952-962.

Gli obiettivi principali dell'imaging parallelo sono:

- Accelerare l'acquisizione
- Ridurre il tempo di scansione (scansioni in apnea e scansioni dinamiche)

Parametri RM

Cosa fa l'imaging parallelo?



Imaging Parallelo (PI)				
Parametro		Rapporto Segnale Rumore /SNR	Risoluzione spaziale	Durata sequenza
Imaging Parallelo				
Imaging Parallelo				

Parametri RM

Cosa è il parametro NEX/NSA?

Il numero di eccitazioni (**NEX**) o il numero di medie/acquisizioni del segnale (**NSA**) sono parametri di misura. Vengono utilizzati per rappresentare il **numero di volte in cui ciascuna riga di dati dello spazio k viene acquisita** e sono utilizzati principalmente per migliorare il rapporto segnale/rumore (SNR).

Raddoppiando il NEX si migliora l'SNR solo della radice quadrata di due ($\sqrt{2}$), poiché viene campionato anche il rumore casuale.

$$SNR = \sqrt{NEX}$$

NEX/NSA	$SNR = \sqrt{NEX}$
1	1,00
2	1,41
3	1,73
4	2,00
6	2,45
10	3,16
12	3,46
16	4,00

NSA/NEX			
Parametro	Rapporto Segnale Rumore /SNR	Risoluzione spaziale	Durata sequenza
NSA/NEX	↑	=	↑
NSA/NEX	↓	=	↓

Parametri RM

Concludendo ...

Un'immagine di risonanza magnetica non è creata da segnali di risonanza magnetica puri, ma da una combinazione di segnali di risonanza magnetica e rumore di fondo inevitabile.

L'intelligenza artificiale (AI) sta rivoluzionando l'imaging RM

Con software come AIR™ Recon DL di GE, la qualità dell'immagine migliora mentre il tempo di acquisizione si riduce.

Obiettivo: ottenere immagini più nitide, con meno rumore e maggiore efficienza, senza cambiare hardware.

Parametri RM

Come l'AI influenza i parametri tradizionali

Tradizionalmente:

Matrice più alta = maggiore risoluzione spaziale, ma più tempo e rumore

Parametro		Risoluzione Spaziale	Dimensione del Pixel	Durata sequenza	SNR
Matrice					
Matrice					

Con AI:

Matrice può essere ridotta perché agisce sul segnale grezzo e completa l'immagine in modo intelligente mantenendo un tempo di esecuzione basso

Parametri RM

Come l'AI influenza i parametri tradizionali

Tradizionalmente:

Bandwidth più alta = meno distorsione, ma più rumore

Parametro		Rapporto Segnale Rumore /SNR	Risoluzione spaziale	Durata sequenza
Bandwidth				

Con AI:

Bandwidth può essere aumentata: AI sfrutta la maggiore quantità di dati grezzi ricevuti per “ripulire” l'immagine dal rumore, migliorando la qualità.

Otteniamo immagini più stabili anche in zone difficili (testa-collo, addome)

Parametri RM

Come l'AI influenza i parametri tradizionali

Tradizionalmente:

NEX più basso = meno tempo, ma peggiore SNR perché l'immagine non viene ripulita dal rumore

Parametro		Rapporto Segnale Rumore /SNR	Risoluzione spaziale	Durata sequenza
NSA/NEX				
NSA/NEX				

Con AI:

NEX può essere mantenuto basso perché l'AI elimina il rumore direttamente in fase di ricostruzione rendendoci l'immagine nitida e leggibile

Parametri RM

Come l'AI influenza i parametri tradizionali

Tradizionalmente:

Imaging parallelo (ARC, SENSE, HyperSense, ...): riduce tempo, aumenta rumore

Parametro		Rapporto Segnale Rumore /SNR	Risoluzione spaziale	Durata sequenza
Imaging Parallelo				
Imaging Parallelo				

Con AI:

Parallel Imaging può essere aumentato perché l' AI capisce dove si sta perdendo informazione e riesce a completare le parti mancanti in modo coerente sfruttando il contesto basandosi su milioni di pattern.

Parametri RM

Come l'AI influenza i parametri tradizionali

Tradizionalmente:

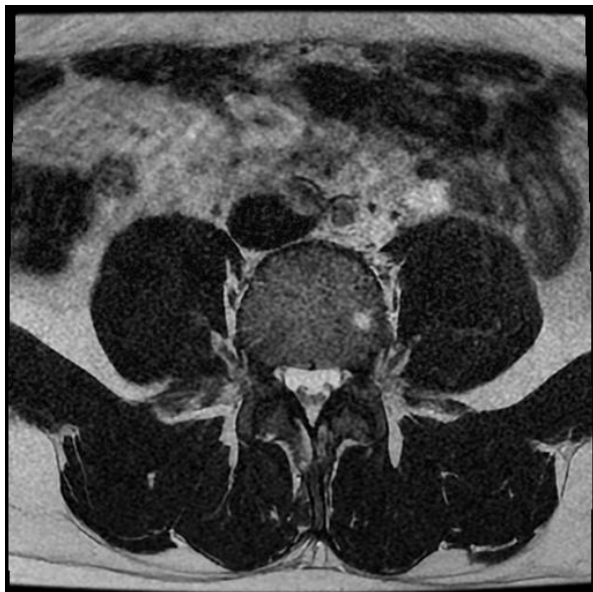
FOV più piccolo = maggiore dettaglio, ma riduce il segnale

Parametro		Risoluzione Spaziale	SNR	Durata sequenza	Numero di strati
Campo di Vista (FOV)				≈	≈
Campo di Vista (FOV)				≈	≈

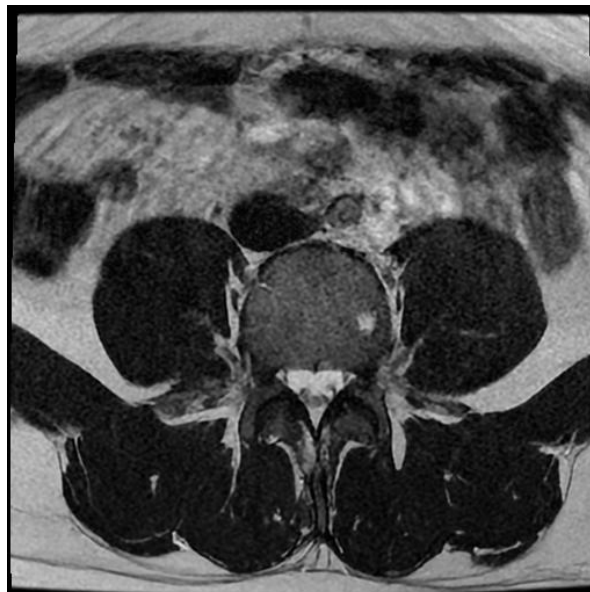
Con AI:

FOV ridotto diventa più utilizzabile grazie alla riduzione del rumore dell'immagine mantenendo i dettagli

RM e AI



DL Low



DL Medium



DL High

AX T2 FSE TR 5592 TE 121/Ef
EC: 1/1 31.2kHz
BOBINA 16AAA + 32PA/TL:p+
FOV 19*19
THK 3.0 0.3 SP
T: 1:02 durata
matrice 256*224 1 NEX
FCs/ACC/NP1.5/TRF/Z512/SPF/FSD:A/FR/DRL

RM e AI



DL Low

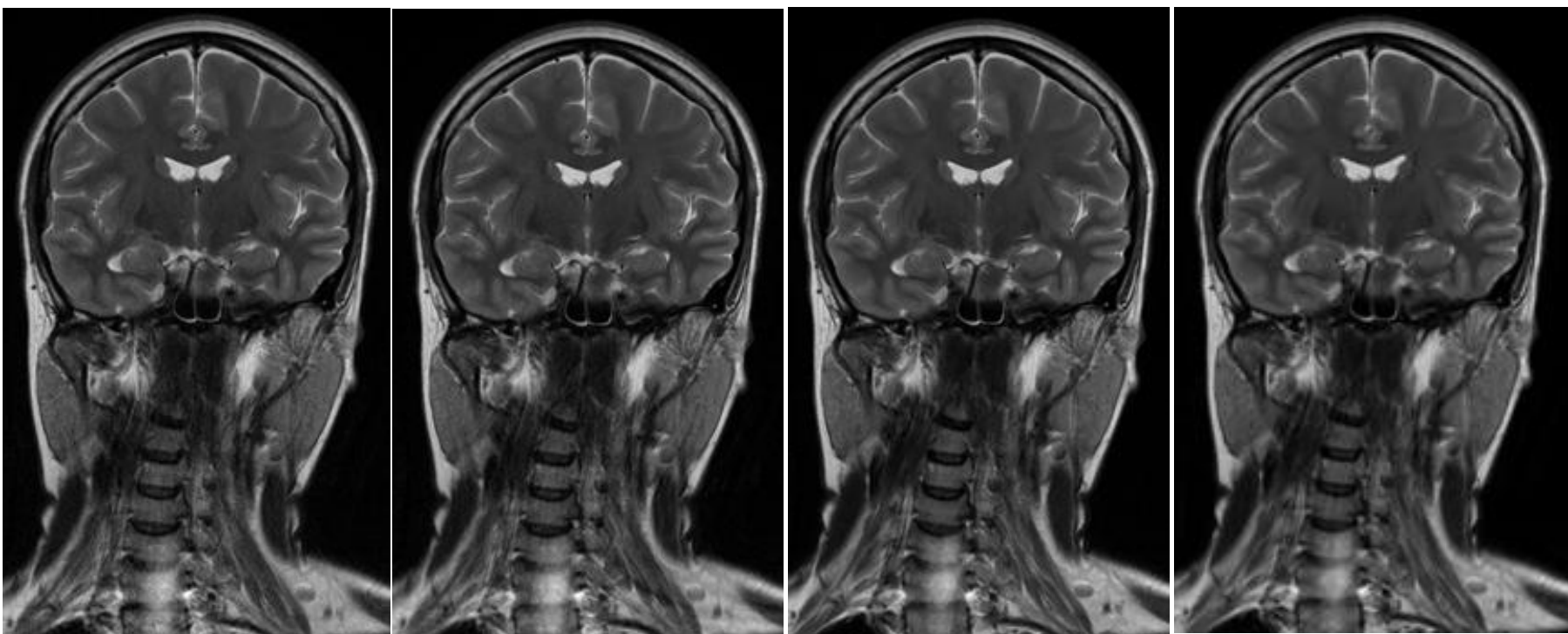


DL Medium



DL High

AX T2 FSE TR 5592 TE 121/Ef
EC: 1/1 31.2kHz
BOBINA 16AAA + 32PA/TL:p+
FOV 19*19
THK 3.0 0.3 SP
T: 1:02 durata
matrice 256*224 1 NEX
FCs/ACC/NP1.5/TRF/Z512/SPF/FSD:A/FR/DRL



NO DL

DL Low

DL Medium

DL High

RM e AI

Grazie



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

